

# Identyfikacja odbiorników energii elektrycznej z wykorzystaniem przekształcenia falkowego sygnałów napięcia zasilającego

**Streszczenie.** Wyniki dotychczasowych badań naukowych prowadzonych w różnych jednostkach akademickich wskazują, że możliwa jest identyfikacja aktywności niektórych odbiorników energii elektrycznej w oparciu o analizę wysokoczęstotliwościowych zniekształceń sygnału powstających podczas pracy urządzenia. Metody te jednak nie uwzględniają informacji o czasie pojawienia się zniekształceń. W metodzie wykorzystano przekształcenie falkowe dla uzyskania precyzyjnej informacji o czasie wystąpienia zniekształceń, która pozwala na identyfikację aktywności niektórych urządzeń.

**Abstract.** According to literature it is possible to identify activities of some electric energy receivers based on analysis of their high frequency signal distortion. These methods do not take into account starting point of these distortions. In this paper, wavelet transform was used to acquire precise information about start time of distortions that in case of some devices enables identification of their activity. (**Electrical appliances identification based on wavelet transform of power supply voltage signal**).

**Słowa kluczowe** NIALM, EMI zużycie energii, transformata falkowa.

**Keywords:** NIALM, EMI, electrical consumption, wavelet transform

## Wstęp

Wzrost zużycia energii elektrycznej oraz rosnąca świadomość konsumentów przekładają się na wzrost zainteresowania tematyką monitorowania i efektywnego zarządzania zużyciem energii elektrycznej. W ostatniej dekadzie obserwowany jest dynamiczny wzrost liczby badań dotyczących systemów nieinwazyjnego monitorowania i analizy zużycia energii przez urządzenia elektryczne (ang. Nonintrusive Appliance Load Monitoring–NIALM). Systemy NIALM wykorzystują często algorytmy sztucznej inteligencji do analizy zjawisk zachodzących w sieci zasilającej odbiorniki energii elektrycznej (OEE). Wspomniane zjawiska (np. zmiany wartości chwilowej prądu, napięcia, mocy itp.) są związane ze zmianami stanu urządzeń (np. włączenia, wyłączenia, zmiany obciążenia itp.) lub pojawieniem się uszkodzeń w samych urządzeniach lub sieci zasilającej [1], [2].

Wynikiem prowadzonych analiz jest informacja o trybie pracy określonych urządzeń w danej chwili (oraz często ich aktualnego trybu pracy), co umożliwia oszacowanie zużycia energii elektrycznej w rozbiciu na poszczególne urządzenia. Dzięki temu możliwe jest wskazanie najbardziej energochłonnych odbiorników i zaproponowanie działań, które przełożą się na oszczędność energii elektrycznej. Ze względu na skomplikowaną naturę problemu, dotychczas stosowane metody nie umożliwiają bezbłędnej identyfikacji wszystkich OEE [3] i dlatego potrzebne są dalsze badania zmierzające do zwiększenia skuteczności identyfikacji. W artykule przedstawiono metodę identyfikacji odbiorników wykorzystującą analizę zniekształceń, które są wprowadzane przez odbiorniki do sygnałów zasilania. Przedstawiona metoda wykorzystuje do celu identyfikacji odbiorników transformatę falkową.

## Transformata falkowa

Wraz z rozwojem systemów NIALM pojawiają się nowe rozwiązania zmierzające do uzyskiwania informacji dotyczącej zjawisk zachodzących w sieci zasilającej (niskiego napięcia). Jednym z rozwiązań istotnych dla rozwoju dziedziny systemów NIALM było wykorzystanie krótko-czasowej transformaty Fouriera (ang. Short-Time Fourier Transform - STFT) do analizy sygnału mierzonego z częstotliwością próbkowania powyżej 500 kHz [4]. Technika pozwoliła na uzyskanie informacji odnośnie wysokoczęstotliwościowych zniekształceń sygnału - EMI (ang. Electromagnetic Interference), wprowadzanych przez

niektóre urządzenia do sieci elektrycznej, np. przez urządzenia wykorzystujące zasilacze impulsowe. Pomimo iż STFT precyzyjnie określa poszczególne składowe w dziedzinie częstotliwości, informacja o momencie ich pojawienia się w analizowanym fragmencie przebiegu czasowego jest w dużej mierze tracona. Dla przykładu w rozwiązaniu opisanym w [4], widmo było obliczane 244 razy na sekundę (co ok. 4 ms), jednak system do identyfikacji wykorzystywał średnią obliczoną na podstawie wyników każdego z 25 kolejnych widm. Powodowało to, że w praktyce system ten dokonywał obliczeń kolejnych wartości średnich widma co ok. 102,5 ms, wyliczanych na podstawie próbek rejestrowanych w czasie ponad 5 okresów napięcia zasilającego o częstotliwości 50 Hz.

W metodzie opisanej w tym artykule, zamiast algorytmu STFT wykorzystano transformatę falkową w postaci ciągłego przekształcenia falkowego CWT (ang. Continuous Wavelet Transform). W przekształceniu tym (CWT), w przeciwieństwie do krótko-czasowej transformaty Fouriera (STFT), długość okna analizy zmienia się, co powoduje, że kosztem pogorszenia rozdzielczości w dziedzinie częstotliwości, można uzyskać informację o chwili (czasie) wystąpienia sygnału z określonego zakresu częstotliwości z dokładnością do setnych części milisekundy. Dla niektórych OEE chwila ta (czas), odniesiona do chwili, w której napięcie zasilania zmienia swoją wartość z ujemnej na dodatnią (chwili umownego początku okresu napięcia zasilania), jest powtarzalna i może być wykorzystana do detekcji faktu włączenia (działania/aktywności) urządzenia. Jak wspomniano w proponowanej metodzie, jako początek analizy sygnału napięcia przyjęto czas  $t_{0i}$  (gdzie  $i$  to numery kolejnych okresów składowej podstawowej sygnału napięcia sieciowego). Czas  $t_{0i}$  odpowiada zmianie wartości sygnału składowej podstawowej napięcia z ujemnej na dodatnią. Teoretyczna częstotliwość sieci elektrycznej w Europie to 50 Hz, w praktyce zmienia się ona w zakresie setnych części Hz [5]. Dlatego konieczne jest każdorazowe wyznaczenie czasu  $t_0$  przed obliczeniem przekształcenia falkowego. Dotychczas w systemach nieinwazyjnego monitorowania i analizy zużycia energii transformata falkowa znalazła zastosowanie w kontekście analizy stanów przejściowych [6] oraz w rozróżnianiu urządzeń zużywających energię elektryczną przy niskiej częstotliwości próbkowania [7]. Proponowana metoda stosuje transformatę falkową w nowym obszarze, przy analizie składowych wysokoczęstotliwościowych sygnału

napięcia zasilającego w stanie ustalonym. W przypadku CWT, dane odwzorowujące sygnał  $s(t)$  ulegają przekształceniu w wartości nazywane współczynnikami przekształcenia CWT zgodnie z wzorem (1) pokazanym poniżej:

$$(1) \quad W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

gdzie:  $a$  to skala (kompresja), określająca czas trwania falki,  $b$  to przesunięcie (translacja), określająca położenie falki w czasie względem  $s(t)$ , zaś  $\psi(t)$  jest funkcją falkową [8]. Wybór kształtu funkcji falkowej wpływa na możliwość wykrycia sygnałów o określonych częstotliwościach zawartych w sygnale  $s(t)$ , które pojawiają się w postaci szczegółów (określonych wartości transformaty) na płaszczyźnie zdefiniowanej dwoma osiami: poziomą reprezentującą czas oraz pionową reprezentującą skalę (zakresy częstotliwości). Kolejne współczynniki uzyskiwane są poprzez przemieszczanie falki o skali  $a$  wzdłuż sygnału  $s(t)$  poprzez zmianę translacji  $b$ . Związek między parametrem skali  $a$  oraz częstotliwością można określić jako:

$$(2) \quad F_a = \frac{F_c}{a} \Delta t$$

gdzie  $F_c$  to częstotliwość środkowa falki (w Hz),  $F_a$  – pseudoczęstotliwość (w Hz), zaś  $\Delta t$  jest okresem próbkowania. Należy zaznaczyć, że w analizach prezentowanych w niniejszym artykule wykorzystano falkę Morleta o częstotliwości środkowej równej częstotliwości próbkowania.

### Stanowisko laboratoryjne i metoda pomiarowa

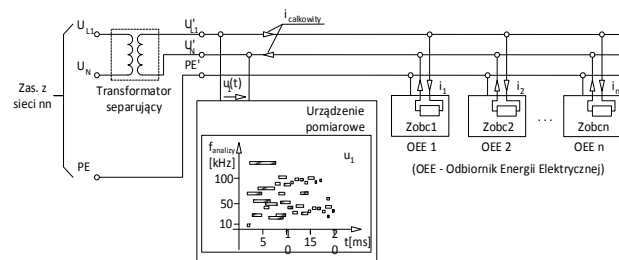
W badaniach wykorzystano opracowane specjalnie w tym celu stanowisko laboratoryjne, o schemacie blokowym pokazanym na rys. 1. Należy zwrócić uwagę, że w trakcie badań OEE były zasilane z sieci niskiego napięcia, odizolowanej galwanicznie od sieci zasilającej budynku poprzez zastosowanie transformatora separującego. Tego rodzaju układ pozwalał na ograniczenie wartości sygnałów wysokich częstotliwości przekazywanych do sieci zasilającej stanowiska z sieci zasilającej budynku. Należy zauważyć, że w pomiarach prowadzonych bez izolacji od sieci zewnętrznej, czyli w klasycznej europejskiej sieci zasilającej, w której pracują setki odbiorników energii elektrycznej, analiza sygnałów wysokiej częstotliwości (EMI) może być znacznie utrudniona, zwłaszcza jeżeli w sieci znajduje się źródło silnych zakłóceń. Warto wspomnieć, że zastosowanie transformatora separującego pozwoliło na uzyskanie warunków panujących w eksperymencie [4] (sieć amerykańska), który jest punktem odniesienia dla wielu artykułów z dziedziny NIALM, a którego wyniki były niemożliwe do potwierdzenia w przypadku korzystania z europejskiej sieci zasilającej.

Analizowane sekwencje próbek sygnału napięcia były rejestrowane z wykorzystaniem karty akwizycji danych Advantech PCIE-1744 pracującej pod dedykowanym oprogramowaniem zrealizowanym w środowisku LabView [9]. Układ umożliwiał rejestrację danych dla jednego kanału z częstotliwością próbkowania do 20 MHz, zaś dla dwóch kanałów z częstotliwością próbkowania do 5 MHz. W omawianych badaniach napięcie mierzono z częstotliwością próbkowania 2 MHz. Obróbka danych realizowana była w środowisku Matlab.

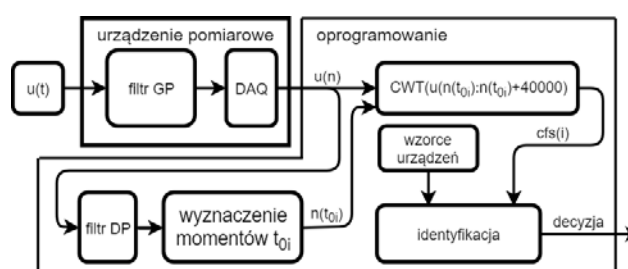
Tego rodzaju metoda pomiarowa oraz częstotliwości próbkowania zostały zastosowane w celu uzyskania wiarygodnych pomiarów sygnałów wysokiej częstotliwości

(kilkadziesiąt do kilkuset kHz), ponieważ zgodnie z wynikami badań [4], [9], znaczna część odbiorników energii elektrycznej wytwarza tego rodzaju sygnały. Pojawiają się one w powtarzalnych chwilach ( $t_k$ ) względem czasu ( $t_{0i}$ ) przejścia sygnału napięcia zasilającego o częstotliwości nominalnej (50 Hz) z wartości ujemnych do dodatnich (rys. 3). Z tego powodu konieczne jest każdorazowe wyznaczenie czasu  $t_0$  przed obliczeniem przekształcenia falkowego. W celu zwiększenia precyzji pomiarów sygnałów wysokiej częstotliwości w sygnale napięcia (poprzez zmniejszenie wartości sygnału częstotliwości 50 Hz), w torze pomiarowym realizowana jest filtracja dolnoprzepustowa z wykorzystaniem filtru trzeciego rzędu o częstotliwości odcięcia 70 Hz. Schemat blokowy obliczania współczynników falkowych i identyfikacji odbiorników w proponowanej metodzie został pokazany na rysunku 2.

Sygnał napięcia na pierwszej fazie  $u_1(t)$ , mierzony w odseparowanej sieci zasilającej (rys. 1) po przejściu przez filtr górnoprzepustowy podawany jest na wejście karty akwizycji danych. O ile pomiar sygnału jest ciągły to przed obliczeniem CWT dla  $i$ -tego okresu składowej podstawowej (50 Hz) wyznaczany jest czas  $t_{0i}$  od którego do analizy CWT tobrane jest kolejne 40 tys. próbek sygnału napięcia zasilającego  $u_1(t)$ . Pomiar realizowany jest z częstotliwością próbkowania 2 MHz. Taka liczba danych jest zbierana w czasie 20 ms, który odpowiada jednemu okresowi napięcia zasilającego 50 Hz. Wynikiem CWT dla  $i$ -tego okresu sygnału jest macierz współczynników falkowych  $cfs(i)$ . Dysponując wzorcami macierzy falkowych uzyskiwanych podczas pracy poszczególnych urządzeń można dokonać identyfikacji OEE.



Rys. 1 Schemat blokowy stanowiska laboratoryjnego wykorzystywanego podczas testów



Rys. 2 Schemat blokowy systemu identyfikacji OEE w proponowanej metodzie

### Wyniki badań

W opisywanej metodzie w celu rozróżnienia odbiorników energii elektrycznej, jako kryterium wykorzystano moment (czas  $t_k$ ) wystąpienia sygnałów w określonych zakresach wysokich częstotliwości obliczane z wykorzystaniem ciągłego przekształcenia falkowego CWT.

Czas  $t_k$  wystąpienia sygnałów w określonym zakresie częstotliwości, był liczony od momentu (czasu)  $t_{0i}$  przejścia sygnału napięcia zasilającego przez zero w  $i$ -tym okresie składowej podstawowej sygnału napięcia zasilającego.

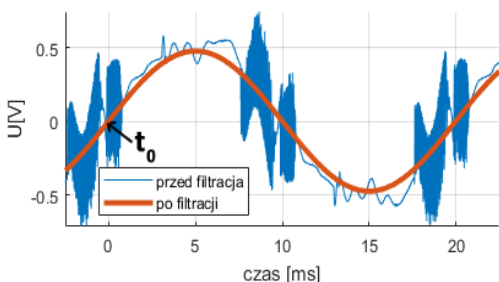
Analiza była wykonywana na próbkach zawierających

jeden okres częstotliwości napięcia zasilającego (20ms) poddanego uprzedniej filtracji dolnoprzepustowej, o której wspomniano wcześniej.

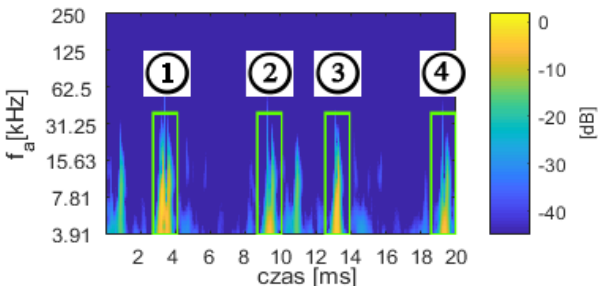
Pomiary były wykonywane dla wielu rozmaitych kombinacji działania odbiorników energii elektrycznej (OEE), poczynając od pracy pojedynczego odbiornika, kończąc na pracy wielu odbiorników jednocześnie. Pomiarów dokonywano w stanie ustalonym pracy OEE, czyli w czasie występującym długo (np. kilkanaście do kilkadziesiąt sekund) po włączeniu określonego urządzenia.

W niniejszym artykule pokazano wybrane wyniki badań dotyczące identyfikacji odbiorników typu wentylator oraz świetlówka wykonane na podstawie sygnału napięcia zasilającego dla trzech przypadków:

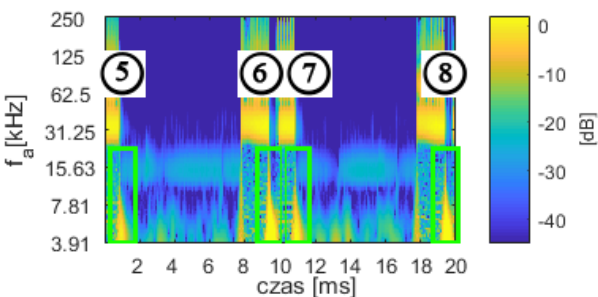
- samodzielnej pracy wentylatora (rys. 4),
- samodzielnej pracy świetlówki (rys. 5),
- jednoczesnej pracy wentylatora i świetlówki (rys. 6).



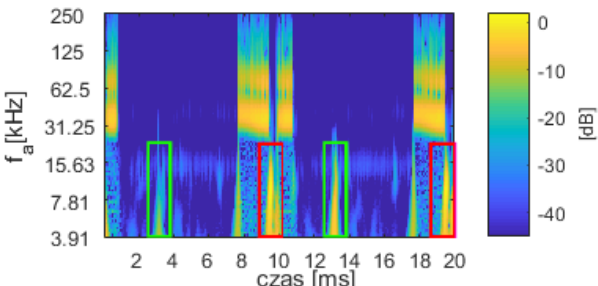
Rys. 3 Przebieg czasowy przy jednoczesnej pracy wentylatora i świetlówki



Rys. 4 Skalogram dla samodzielnej pracy wentylatora



Rys. 5 Skalogram dla samodzielnej pracy świetlówki

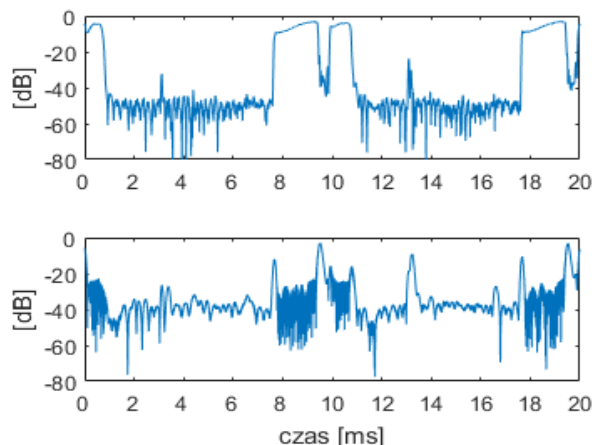


Rys. 6 Skalogram dla jednoczesnej pracy wentylatora i świetlówki

Wspomniane rysunki pokazują wyniki badań w postaci skalogramów, czyli wykresów na płaszczyźnie zdefiniowanej dwoma osiami: poziomą reprezentującą czas

oraz pionową reprezentującą skalę (zakresy częstotliwości). Kolorami przedstawiono wartości amplitud sygnałów o określonych częstotliwościach (zawarte w sygnale napięcia zasilającego) określone z wykorzystaniem przekształcenia CWT, pojawiających się w określonym czasie liczącym od czasu  $t_0$  przejścia sygnału napięcia zasilającego przez zero.

Na przedstawionych skalogramach można zaobserwować, że zarówno wentylator jak i świetlówka wprowadzają charakterystyczne dla siebie częstotliwości w różnych momentach ( $t_1, t_2$ ) względem  $t_0$ . Należy zauważyć, że o ile przy analizie z wykorzystaniem przekształcenia STFT świetlówkę można stosunkowo łatwo rozpoznać dzięki silnym składowym widmowym pojawiającym się w paśmie 30-35 kHz, to identyfikacja wentylatora w oparciu o analizę tego samego rodzaju jest bardziej kłopotliwa lub wręcz nie jest możliwa. Jest to związane z faktem występowania wspomnianych częstotliwości 3,91-15,63 kHz zarówno podczas pracy wentylatora (rys. 4) jak i świetlówki (rys. 5). Na wspomnianych rysunkach prostokątami zaznaczono chwile, w których pojawiały się zwiększone wartości współczynników falkowych dla skal odpowiadających pseudoczęstotliwościom od 3,91 do 15,63 kHz. Jak widać częstotliwości z tego zakresu pojawiają się w przypadku pracy tak pierwszego jak i drugiego urządzenia. Należy jednak zauważyć, że dzięki wykorzystaniu transformaty falkowej CWT na rysunkach uzyskano precyzyjną informację o chwilach występowania wspomnianych sygnałów wysokiej częstotliwości, które są odmiennie dla tych urządzeń. W przypadku wentylatora wspomniane częstotliwości pojawiały się w chwilach oznaczonych na rysunku 4 jako 1, 2, 3, 4, natomiast w przypadku świetlówki pojawiały się w chwilach oznaczonych na rysunku 5 jako 5, 6, 7, 8. O ile dla obu urządzeń wartości współczynników falkowych dla skal odpowiadających pseudoczęstotliwościom od 3,91 do 15,63 kHz wzrastały w zbliżonych czasach, oznaczonych na obu rysunkach odpowiednio jako 2 i 6 oraz 4 i 8 które zaznaczono dodatkowo kolorem czerwonym na rysunku 6, to kolorem zielonym zaznaczono czasy występowania tej składowej, spowodowane jedynie pracą wentylatora. Odpowiadają one czasom 1 i 3 z rysunku 4. Dzięki temu możliwa jest identyfikacja wentylatora przy jednoczesnej pracy z drugiego urządzenia w postaci świetlówki.



Rys. 7 Przebieg wartości współczynników falkowych dla skal odpowiadających pseudoczęstotliwości 31,25 kHz (górną) oraz 13,72 kHz (dół)

Należy zauważyć, że w rozważanym przypadku, zniekształcenia wprowadzane przez świetlówkę były znacząco większe od tych wprowadzanych przez wentylator. Widać to porównując skale kolorów pokazane

po prawej stronie rysunków ze skalogramami oraz na rysunku 7, przedstawiającym przebieg wartości współczynników falkowych podczas jednoczesnej pracy wentylatora i świetlówki. Górny rysunek przedstawia przebieg dla najsilniejszej składowej wprowadzanej przez świetlówkę (pseudoczęstotliwość 31,25 kHz), dolny przebieg dla skali odpowiadającej pseudoczęstotliwości 13,72 kHz. Należy zwrócić uwagę, że skale te są podane w dB co oznacza, że zmiana w kolorze o 20dB oznacza dziesięciokrotną zmianę w amplitudzie.

Nawiązując do wcześniejszych prac wykorzystujących w analizach widmo FFT wyznaczane na podstawie próbek sygnału pobieranych w czasie nie mniejszym niż 20 ms, należy zauważyć, że składowe widmowe wysokiego częstotliwości wynikające z pracy wentylatora znalazłyby się poniżej amplitudy prążków widma wynikających z pracy świetlówki. Wynika stąd, że z wykorzystaniem dotychczasowych rozwiązań uznawanych za podstawowe dla tego rodzaju analiz (np. [4]) nie byłoby możliwe zauważenie składowych spowodowanych pracą wentylatora.

Należy jednak zauważyć, że proponowana metoda opisana w niniejszym artykule ma pewne wady widoczne na wspomnianych skalogramach pokazanych na rys. 4 i rys. 5 wynikające z faktu, że sygnały charakteryzujące się określonymi częstotliwościami dla przypadku pracy pojedynczych urządzeń występują kilka razy w zbliżonym czasie względem czasu  $t_0$  (np. chwile 1 i 5, 2 i 6). Jest to słaba strona proponowanej metody, ponieważ w wypadku braku innych składowych charakterystycznych dla danego odbiornika, rozróżnienie urządzeń w oparciu o analizę wartości współczynników falkowych mogłoby być znacząco utrudnione.

## Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań wskazują, iż możliwe jest rozróżnienie odbiorników energii elektrycznej (OEE) pracujących w amerykańskiej sieci niskiego napięcia. Zaproponowana metoda działa w oparciu o czas wystąpienia wprowadzanych przez OEE sygnałów wysokiej częstotliwości (zniekształceń) EMI, odniesiony do czasu  $t_0$  przejścia sygnału napięcia zasilającego o częstotliwości nominalnej (50 Hz) z wartości ujemnych do dodatnich. W metodzie do określania wspomnianych czasów wystąpienia sygnałów wysokiej częstotliwości wykorzystano przekształcenie falkowe CWT. Proponowana metoda umożliwi identyfikację OEE w oparciu o analizę sygnałów EMI nawet w przypadku, gdy któreś z pracujących urządzeń wprowadza bardzo silne składowe, przesłaniające w widmie fourierowskim składowe pochodzące od innych odbiorników, co w dotychczas znanych metodach nie było to możliwe. Potencjalnym ograniczeniem proponowanej metody jest wrażliwość na składowe pochodzące od różnych urządzeń, a występujące w zbliżonym czasie względem czasu  $t_0$ . Dlatego też istnieje potrzeba dalszych badań nad tą metodą, w celu określenia skuteczności identyfikacji przy większej liczbie pracujących urządzeń. Potrzebne jest także określenie możliwości rozróżnienia urządzeń wprowadzających składowe w zbliżonym czasie względem czasu  $t_0$ . Planuje się również wykonanie podobnych badań dotyczących metod identyfikacji

odbiorników energii elektrycznej z wykorzystaniem analiz wysokoczęstotliwościowych sygnału prądu obciążenia sieci niskiego napięcia. Wykorzystanie wyników pomiaru prądu pozwoli na zastosowanie opracowanej metody analizy sygnałów również w europejskich sieciach niskiego napięcia z uwagi na fakt, że poziom szumów tła w sygnale prądu jest znacząco mniejszy niż w sygnale napięcia.

**Autorzy:** mgr inż. Krzysztof Dowalla, Politechnika Warszawska, Instytut Radioelektroniki i Technik Multimedialnych, ul. Nowowiejska 15/19 00-665 Warszawa, E-mail: K.Dowalla@ire.pw.edu.pl;  
 prof. dr hab. inż. Wiesław Winiński, Politechnika Warszawska, Instytut Radioelektroniki i Technik Multimedialnych, ul. Nowowiejska 15/19 00-665 Warszawa, E-mail: W.Winiński@ire.pw.edu.pl;  
 dr inż. Robert Łukaszewski, Politechnika Warszawska, Instytut Radioelektroniki i Technik Multimedialnych, ul. Nowowiejska 15/19 00-665 Warszawa, E-mail: R.Lukaszewski@ire.pw.edu.pl.  
 dr inż. Ryszard Kowalik, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75 00-662 Warszawa, E-mail: Ryszard.Kowalik@ien.pw.edu.pl.

## LITERATURA

- [1] Liszewski K., Łukaszewski R., Kowalik R., Nogal Ł., Winiński W., Different appliance identification in non-intrusive appliance load monitoring, W: V. Haasz, K. Madani (Eds.), *Advanced Data Acquisition and Intelligent Data Processing*, River Publishers, Aalborg, Denmark, 2014, ISBN 978-87-93102-73-6, (2014), 31-58
- [2] Rasolomampionona D., Kowalik R., Gontarz K., Januszewski M., "The construction and operation of some examples of merging units", *IEEE International Energy Conference (ENERGYCON 2014)*, (2014), 779-785
- [3] Wojcik A., Winiński, W; Kowalik, R, "Characterization of electrical appliances based on their immittance", *PHOTONICS APPLICATIONS IN ASTRONOMY, COMMUNICATIONS, INDUSTRY, AND HIGH-ENERGY PHYSICS EXPERIMENTS 2016*, Proceedings of SPIE, Volume: 10031, Article Number: UNSP 1003121, ISSN: 0277-786X
- [4] Reynolds M., Patel S. Gupta S. Single-Point Sensing Using EMI for Electrical Event Detection and Classification in the Home, Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing (UbiComp '10), ACM, New York, NY, USA (2010), 139-148
- [5] Oziembowski K., Opala K., Stabilność statyczna systemów elektroenergetycznych: Kołysania mocy, *Śląskie Wiadomości Elektryczne*, 121 (2015), 4-10
- [6] Duarte C., Delmar P., Goossen K.W., Barner K., Non-Intrusive Load Monitoring Based on Switching Voltage Transients and Wavelet Transforms, *Future of Instrumentation International Workshop*, Gatlinburg, TN, (2012), 1-4
- [7] Ferrandez-Pastor F., Garcia-Chamizo J., Romacho-Agud V., Florez-Revuelta F. Using wavelet transform to disaggregate electrical power consumption into the major end-uses, Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence. Personalisation and User Adapted Services. UCAMI 2014. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 8867 (2014), 272-279
- [8] Sadowski J.: The Continuous Wavelet Transform: a tool for signal investigation and understanding, *J. Hopkins APL Tech D*, 3 (1996) vol. 17, (1994), 258-269
- [9] Nogal Ł., Januszewski M., Kurek K., Łukaszewski R., Winiński W. Kowalik R., System pomiarowy stosowany do rejestracji przebiegów wysokiej częstotliwości wykorzystywanych w metodach identyfikacji domowych urządzeń elektrycznych, *Mat. XI Konferencji Naukowej: Systemy pomiarowe w badaniach naukowych i przemyśle*, (2016), 69-72